10.22092/sppi.2021.124607

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۷، شماره ۱، سال ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های‌نخود (*Cicer arietinum* L.) با استفاده از روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری

Assessment of Seed Yield Stability of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes Using Parametric and Non-Parametric Statistical Methods

رحمت‌الله کریمی‌زاده[۱]، پیام پزشکپور[۲]، امیر میرزائی[۳]، محمد برزعلی[۴]، کاووس کشاورزی[۵] و پیمان شریفی[۶]

۱- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.
۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.
۳-استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
۴-استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران.
۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران.
۶- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

چکیده

کریمی‌زاده، ر.، پزشکپور، پ.، میرزائی، ا.، برزعلی، م.، کشاورزی، ک. و شریفی، پ. ۱۴۰۰. ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های‌نخود (*Cicer arietinum* L.) با استفاده از روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری. **مجله نهال و بذر ۳۷:** ۱۲۶-۱۰۳.

شانزده ژنوتیپ نخود و دو رقم تجاری عادل و آزاد به عنوان شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط دیم در چهار منطقه گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام به‌مدت سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۵) ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۱، ۱۷ و ۴ به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۶، ۶ و ۳ از نظر شاخص‌های واریانس شوکلا (σ^2i)، اکووالانس ریک (Wi)، ریشه خطای میانگین مربع (RMSE)، $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ به ترتیب پایدارترین عملکرد دانه را دارا بودند. ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۸ با ضریب رگرسیون نزدیک به یک، عملکرد بالاتر از میانگین کل و کمترین مقدار انحراف از رگرسیون، ژنوتیپ‌هایی برتر بودند. تجزیه واریانس ابرهارت و راسل اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط (خطی) را نشان داد که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی بود. ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ ژنوتیپ‌های برتر از نظر شاخص عملکرد- پایداری عملکرد (YSi) بودند. بر پایه شاخص ناپارامتری TOP ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۵، ۹ و ۴ برتر بودند. بر پایه شاخص برتری لین و بینز، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۵، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ در کلیه محیط‌های آزمایشی مطلوب بودند. در مجموع، می‌توان ژنوتیپ‌های ۴، ۵ و ۱۲ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاو پایدار و مناسب برای ارزیابی‌در پروژه‌های تحقیقی- ترویجی مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: نخود، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، شاخص برتری، رتبه عملکرد، سازگاری، شاخص عملکرد-پایداری.

نگارنده مسئول: r.karimizadeh@areeo.ac.ir تلفن: ۰۷۴۳۲۳۴۳۴۰۱

مقدمه

در کشورهای در حال توسعه، نخود (*Cicer arietinum* L.) همانند حبوبات دیگر نقش مهمی در نظام‌های زراعی سنتی ایفا می‌کند. این گیاه علاوه بر اهمیت آن به‌عنوان یک منبع غذایی مهم برای تغذیه انسان و دام می‌تواند به مدیریت حاصلخیزی خاک بویژه در مناطق خشک کمک نماید (Hajivand *et al.*, 2020). نخود سازگاری بیشتری نسبت به سایر حبوبات با شرایط اقلیمی ایران دارد و در کنار منابع پروتئین‌های حیوانی می‌تواند بخشی از پروتئین‌های مورد نیاز بدن انسان را نیز تأمین کند (Kanouni *et al.*, 2016). با وجود اهمیت فراوان این گیاه، تنش‌های محیطی می‌توانند بر عملکرد بهینه آن در محیط‌های مختلف تأثیر بگذارند. از این‌رو، ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون از اهمیت بالایی برخوردار است.

تجزیه واریانس مرکب نخستین گام برای تشخیص وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایش‌های چندمحیطی است. اگر چنین برهمکنش معنی‌داری یافت شد، آنگاه یک یا چند روش آماری پایداری می‌تواند برای ارزیابی یک ژنوتیپ خاص استفاده شود. تجزیه پایداری درک سازگاری ژنوتیپ های مختلف در دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی و رده‌بندی ژنوتپ‌های سازگار را آسان می‌کند. استفاده از ژنوتیپ‌های سازگار به تولید پایای محصولات در زمان‌ها و مکان‌های مختلف کمک می‌کند (Sharifi *et al.*, 2017).

برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد در نخود توسط پژوهشگران ارزیابی شده است. از جمله سینگ و سینگ (Singh and Singh, 2013) با ارزیابی تعدادی ژنوتیپ نخود نشان دادند که اثر ژنوتیپ × محیط (خطی) و محیط + برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تفاوت قابل ملاحظه بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ پایداری عملکرد بود.

نوید و همکاران (Naveed *et al.*, 2016) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود از ضریب رگرسیون (bi)، میانگین مربعات انحراف از رگرسیون (S^2di)، اکووالانس (Wi)، ضریب تشخیص (R^2) و ضریب تغییرات (CV) استفاده و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود را شناسایی کردند. بخش و همکاران (Bakhsh *et al.*, 2011) با ارزیابی ۱۶ ژنوتیپ نخود در شش مکان در دو سال زراعی، اثر معنی‌دار مکان، سال، ژنوتیپ، برهمکنش سال × مکان، سال × ژنوتیپ، مکان × ژنوتیپ و سال × مکان × ژنوتیپ را نشان دادند و از شاخص‌های ضریب تغییرات، ضریب رگرسیون و میانگین مربعات انحراف از رگرسیون برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کردند.

کیزیلچی (Kizilgeci, 2018) با ارزیابی ۱۹ ژنوتیپ نخود در چهار محیط و دو سال زراعی از شاخص‌های ضریب رگرسیون و

میانگین مربعات انحراف از رگرسیون، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا ($\sigma^2 i$) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار استفاده کردند. حاجی‌وند و همکاران (Hajivand *et al.*, 2020) با ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ پیشرفته نخود و دو رقم شاهد، اثر معنی‌دار مکان، سال × مکان، ژنوتیپ، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × مکان × سال را نشان دادند. ایشان علاوه بر روش بای‌پلات با شاخص برتری (Superiority index) و شاخص پایداری شوکلا نیز ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار را شناسایی کردند.

دانیالی و همکاران (Danyali *et al.*, 2012) با ارزیابی ۱۷ ژنوتیپ نخود در شانزده محیط، اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنویپ × محیط را بر عملکرد دانه گزارش کردند و با شاخص‌های مختلف پایداری از جمله اکووالانس ریک، واریانس شوکلا، ضریب تغییرات، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون، انحراف از رگرسیون ابرهارت و راسل، روش رگرسیون پرکینز و جینکز، فریمن و پرکینز، روش تای، شاخص برتری لین و بینز (Pi)، پارامتر هرنانذز و روش‌های GGE Biplot و تجزیه AMMI ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار را شناسایی کردند.

کانونی و همکاران (Kanouni *et al.*, 2015) برای ارزیابی پایداری ۱۴ ژنوتیپ نخود در ۱۲ محیط، با روش‌های اکووالانس ریک، واریانس پایداری، روش پلاستد، ضریب تغییرات، ضریب رگرسیون و انحراف از رگرسیون، ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود را شناسایی کردند. تیلاهون و همکاران (Tilahun *et al.*, 2015) با ارزیابی ۱۷ ژنوتیپ نخود در پنج مکان، از شاخص‌های اکووالانس ریک، شاخص پایداری ابرهارت و راسل و روش امی برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود استفاده کردند.

محمد و همکاران (Mohamed *et al.*, 2015) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود از شاخص‌های ضریب رگرسیون، انحراف از رگرسیون و اکووالانس ریک استفاده کردند. حسن و دب (Hasan and Deb, 2017) با ارزیابی هشت واریته نخود در چهار سال زراعی با تجزیه رگرسیونی، ژنوتیپ‌های پایدار نخود را شناسایی کردند. اردمچی (Erdemci, 2018) با ارزیابی ۱۵ ژنوتیپ نخود در هشت محیط با پارامترهای ضریب رگرسیون و میانگین مربعات انحراف از رگرسیون، ژنوتئپ‌های با عملکرد پایدار نخود را شناسایی کردند.

اعظم و همکاران (Azam *et al.*, 2020) با استفاده از شاخص‌های ضریب رگرسیون و انحراف از میانگین مربعات رگرسیون، ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود را شناسایی کردند. مهتابی و همکاران (Mahtabi *et al.*, 2014) اثر معنی‌دار محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال را در ۲۰ ژنوتیپ نخود گزارش کردند و برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار از شاخص‌های‌برتری، ضریب تغییرات، واریانس محیطی، واریانس پایداری شوکلا، اکووالانس

ریک، ضریب رگرسیون، انحراف از میانگین مربعات رگرسیون و ضریب تشخیص بهره گرفتند.

هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد تعدادی از لاین‌های نخود با روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری برای شناسایی لاین پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری ایران بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۶ ژنوتیپ نخود گزینش شده‌از آزمایش‌های مقدماتی عملکرد به‌همراه ارقام شاهد عادل و آزاد (جدول ۱) به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام به‌مدت سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۵) در کرت‌هایی به طول شش متر و عرض یک متر بر روی پنج خط با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ارزیابی شدند. ویژگی‌های جغرافیایی و مقدار بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- شماره و نام ژنوتیپ‌های بررسی شده

Table 1. Number and name of studied genotypes

ردیف no.	نام/شجره Name/Pedigree	منشأ Origin
1	ILC 484 ACC no 26783-68	ICARDA
2	FLIP84-48C X81TH55/ILC 1920//ILC 2956	ICARDA
3	FLIP84-79C X80TH176/ILC 72//ILC 215	ICARDA
4	FLIP86-6C X81TH203//(ILC 3279(WH)/ILC 3355)	ICARDA
5	FLIP90-96C X87TH26/ILC 5342//FLIP 84-93C	ICARDA
6	FLIP93-93C X89TH258//FLIP 85-122C/FLIP 82-150C/3/FLIP 86-7C	ICARDA
7	FLIP97-281C X94TH75/FLIP 87-58C//UC 15	ICARDA
8	FLIP97-503C X94TH8/FLIP 86-6C//FLIP 90-109C	ICARDA
9	FLIP97-530C X94TH103//FLIP 91-186C/FLIP 91-96C/3/FLIP 90-109C	ICARDA
10	FLIP98-121C X95TH42/FLIP 90-15C/ILC 5362/3/FLIP 93-2C	ICARDA
11	FLIP09-37C X04TH73/FLIP97-195C//FLIP98-108C/3/FLIP96-154C	ICARDA
12	FLIP09-58C X04TH176/FLIP95-68C//FLIP97-205C	ICARDA
13	FLIP09-229C S00794(30 KR)-13/FLIP	ICARDA
14	FLIP09-285C X04TH143/FLIP00-6C//FLIP97-205C	ICARDA
15	FLIP09-289C X04TH145/FLIP00-14//FLIP98-137C	ICARDA
16	FLIP09-297C X04TH149/S00547//FLIP98-233C	ICARDA
17	ADEL	IRAN
18	AZAD	IRAN

جدول ۲- مختصات جغرافیایی و میانگین بارندگی سالانه محل اجرای آزمایش

Table 2. Geographic coordinates and average annual rainfall of experimental sites

Location	مکان	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above see level (m)	عرض جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Latitude	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) Average annual rainfall (mm)
Gachsaran	گچساران	710	50°50' E	30°17' N	450
Gonbad	گنبد	45	55°12' E	37°16' N	550
Ilam	ایلام	975	46°36' E	33°47' N	350
Khorramabad	خرم‌آباد	1147	48°18' E	33°29' N	445

جدول ۳- بارندگی سالانه محل های اجرای آزمایش در طول فصل زراعی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸

(شماره‌های داخل پرانتز نشانگر شماره محیط‌ها است)

Table 3. Annual rainfall of experimental sites during 2016-19 cropping seasons

(Numbers in parenthesis stands for environment codes)

		سال زراعی Cropping season		
Location	مکان	2016-17	2017-18	2018-19
Gachsaran	گچساران	236.9 (E1)	176.8 (E5)	764.4 (E9)
Khoramabad	خرم‌آباد	416.3 (E2)	488.4 (E6)	953.0 (E10)
Gonbad	گنبد	332.6 (E3)	344.1 (E7)	627.7 (E11)
Ilam	ایلام	408.9 (E4)	496.4 (E8)	900.9 (E12)

در کلیه محیط ها کشت در زمینی انجام شد که سال پیش از آن آیش بود. زمین برای آماده‌سازی با گاوآهن شخم زده شد و با دیسک و روتیواتور نرم‌گردید و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره به هنگام عملیات‌تهیه زمین، بطور یکنواخت به خاک افزوده شد. پس از برداشت، عملکرد دانه براساس کیلوگرم در هکتار وزرن شد و تجزیه‌های آماری بر روی آن انجام شد.

تجزیه‌های آماری

همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت بررسی شد. برای تجزیه پایداری پارامتری، از آماره‌های واریانس پایداری شوکلا ($\sigma^2 i$) و S^2 (واریانس انحراف) (Shukla, 1972)، اکووالانس ریک (Wi) (Wrick, 1962)، واریانس محیطی (S^2_i) (Roemer, 1917)، ضریب تغییرات (CV) (Francis and Kannenberg, 1978)، ضریب تشخیص (R^2) (Pinthus, 1973) و ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (b_i) (Finlay and Wilkinson, 1963) استفاده شد. همچنین تجزیه واریانس به روش ابرهارت

و راسل (Eberhart and Russel, 1966) نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار انجام شد.

علاوه بر روش‌های پارامتری، پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$ (Nassar and Huehn, 1987)، $S_i^{(2)}$ (Huehn, 1990) و TOP (Fox *et al.*, 1990) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار بهره گرفته شد. کلیه تجزیه‌ها با بسته‌های Stability (Yaseen *et al.*, 2018) و METAN (Olivoto and Lúcio, 2020) در نرم‌افزار R انجام شدند.

نتایج و بحث

همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از روش بارتلت آزموده شد که نتایج نشانگر همگنی واریانس‌خطاهای آزمایشی در همه محیط‌ها بود. بنابراین تجزیه واریانس مرکب برای کلیه داده‌ها، بدون حذف هیچ محیطی، انجام شد. تجزیه واریانس ساده برای هر یک از محیط‌ها (ترکیب سال و مکان) گویای اثر معنی‌دار ژنوتیپ در بسیاری از محیط‌ها بود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). اثر اصلی ژنوتیپ، مکان، سال و کلیه برهمکنش‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در چهار مکان و سه سال زراعی

Table 4. Combined analysis of variance for seed yield of chickpea genotypes in four locations and three growing seasons

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS	F
Location (L)	مکان	3	21638440.5	409.35**
Year (Y)	سال	2	15052244.1	284.75**
L × Y	مکان × سال	6	9140031.3	172.91**
Block (YL)	بلوک (سال × مکان)	24	166413.9	-
Genotype (G)	ژنوتیپ	17	518975.8	9.82**
G × L	ژنوتیپ × مکان	51	281745.6	5.33**
G × Y	ژنوتیپ × سال	34	110985.0	2.10**
G × L ×Y	ژنوتیپ × مکان × سال	102	102016.6	1.93**
Experimental error	خطای آزمایشی	408	52860.4	-
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات	19.2		
Bartlett's test	آزمون بارتلت	χ^2=18.9	P-value=0.33	

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه بود که در تجزیه‌های جداگانه هم چنین نتایجی دیده شد. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × مکان

سازگاری خصوصی بعضی از ژنوتیپ‌ها را نشان داد. همچنین اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌ها را از مکانی به مکان دیگر و سالی به سال دیگر نشان داد که این تفاوت می‌تواند ناشی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی تغییرات آب و هوایی و سایر عوامل باشد (Hajivand *et al.*, 2020).

بنابراین نیاز است که عملکرد ژنوتیپ‌ها در چندین محیط ارزیابی شود تا سازگاری عمومی و خصوصی آنها آشکار شود و ژنوتیپ (یا ژنوتیپ‌هایی) گزینش شوند که افزون بر عملکرد دانه بالا، پایداری عملکرد نیز داشته باشند. برای تعیین پایداری عملکرد دانه و سازگاری ژنوتیپ‌ها روش‌های مختلف تجزیه پایداری به کار گرفته شد. پژوهشگران دیگری نیز اثر معنی‌دار ژنوتیپ محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را بر عملکرد دانه نخود گزارش کرده‌اند (Bakhsh *et al.*, 2011; Singh and Singh, 2013; Naveed *et al.*, 2016; Hajivand *et al.*, 2020).

مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌ها و رتبه عملکرد آنها در جدول ۵ ارائه شده است. در محیط اول، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۵، ۱۰، ۷ و ۴؛ در محیط دوم، ژنوتیپ‌های ۵، ۸، ۱۴، ۷ و ۱۸؛ در محیط سوم، ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۹، ۱۵ و ۶؛ در محیط چهارم، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۱، ۱۴، ۲ و ۱۷ در محیط‌پنجم، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۵، ۱۱، ۶ و ۴؛ در محیط‌ششم، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۷، ۱۲، ۴ و ۵؛ در محیط‌هفتم، ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۱۵، ۱۷ و ۶؛ در محیط‌هشتم، ژنوتیپ‌های ۱۷، ۵، ۱۱، ۱۲ و ۹؛ در محیط نهم، ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۴، ۳ و ۷؛ در محیط‌دهم، ژنوتیپ‌های ۸، ۱۵، ۵، ۱۶ و ۷؛ در محیط‌یازدهم، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۹، ۱۲، ۴ و ۱۵ و در محیط‌دوازدهم، ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۱، ۱۲، ۵ و ۹، پنج ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد دانه بودند (جدول ۵).

پیش از ارزیابی پایدای عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها، رتبه آنها از نظر میانگین عملکرد دانه در کل محیط‌ها سنجیده شد و نشان داده شد که ژنوتیپ‌های ۵، ۱۲، ۱۱، ۱۷ و ۴ به ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند، و از سوی دیگر ژنوتیپ‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب پایین‌ترین عملکرد دانه را دشتند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها ۱۱۹۷/۷۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶).

ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۶، ۶، ۳ و ۱۰، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه پایدار با واریانس شوکلا (σ^2i) بودند، که فقط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۸ بیشتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ ها بود (جدول ۶). مقدار S^2 (واریانس انحراف) که پس از حذف اثر خطی شاخص محیطی، پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها را ارزیابی می‌کند نیز برای این دو ژنوتیپ پایین‌تر از ژنوتیپ‌های دیگر بود. مقدار این دو آماره برای ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۴، ۱۷ و ۴ معنی‌دار شد و این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد دانه ناپایدار بودند (جدول ۶). ضریب پایداری اکووالانس ریک (Wi) که

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه و رتبه ژنوتیپ‌های نخود در هر کدام از محیط‌ها

Table 5. Mean comparison of seed yield and rank of chickpea genotypes in each nviron

	گچساران۱ Gach1	رتبه R	خرم‌آباد۱ Khor1	رتبه R	گنبد۱ Gonb1	رتبه R	ایلام۱ Ilm1	رتبه R	گچساران۲ Gach2	رتبه R	خرم‌آباد۲ Khor2	رتبه R	گنبد۲ Gonb2	رتبه R	ایلام۲ Ilm2	رتبه R	گچساران۳ Gach3	رتبه R
G1	844	7	2376	17	1193	9	1052	17	893	8	402	18	1159	11	429	18	710	10
G2	572	17	2606	9	989	18	1687	4	727	16	642	15	980	18	485	17	719	9
G3	788	8	2509	13	1172	12	1078	15	898	7	672	13	1143	12	854	14	819	4
G4	931	5	2541	11	1494	1	1072	16	1022	5	1259	4	1544	1	778	15	642	14
G5	699	13	3039	1	1452	2	1537	6	768	15	1162	5	1459	2	1378	2	648	13
G6	647	15	2445	15	1255	5	1375	9	710	17	816	11	1259	5	1012	8	812	6
G7	980	4	2789	4	1036	16	1154	14	1076	4	1069	7	1080	15	924	11	816	5
G8	684	14	2835	2	1124	13	1479	8	783	13	792	12	1096	13	775	16	1000	1
G9	719	12	2647	7	1310	3	995	18	823	9	659	14	1244	6	1150	5	877	2
G10	1046	3	2592	10	1176	11	1193	12	1115	3	1118	6	1179	10	860	13	627	15
G11	735	10	2535	12	1077	14	1850	2	807	11	1528	1	1092	14	1354	3	667	12
G12	854	6	2608	8	1209	8	1977	1	905	6	1266	3	1218	7	1229	4	747	8
G13	1104	1	2390	16	1014	17	1187	13	1179	1	869	10	1069	17	875	12	421	18
G14	560	18	2803	3	1210	7	1774	3	681	18	515	17	1262	4	938	10	867	3
G15	1068	2	2487	14	1267	4	1284	11	1140	2	616	16	1275	3	1143	6	603	17
G16	644	16	2659	6	1220	6	1309	10	772	14	1044	8	1196	9	1014	7	750	7
G17	719	11	2356	18	1040	15	1557	5	790	12	1275	2	1075	16	1454	1	688	11
G18	776	9	2685	5	1192	10	1501	7	818	10	958	9	1213	8	1006	9	605	16
LSD 5%	89.71		244.79		195.13		292.05		94.93		353.47		187.89		261.07		198.72	

Gach: Gachsaran
Khor: Khorramabad
Gonb: Gonbad
Ilm: Ilam

جدول ۶- پارامترهای پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های نخود بر اساس روش‌های واریانس و رگرسیون در ۱۲ محیط

Table 6. Stability parameters for seed yield of chickpea genotypes based on variance and regression methods in 12 environments

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Mean seed yield (kg ha^{-1})	واریانس محیطی S_i^2	ضریب تغییرات محیطی CV_i	اکووالانس ریک W_i^2	واریانس شوکلا σ_i^2	واریانس انحراف شوکلا S^2	ضریب رگرسیون b_i	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تشخیص R2	شاخص برتری لین و بینز Pi
G1	1031	263092	49.7	488121	47581	51225	0.933	199.0	0.836	204737
G2	1037	376604	59.2	460061	44711	41106	1.160	179.0	0.907	181397
G3	1117	236599	43.6	145124	12502	12996	0.943	106.0	0.948	135341
G4	1250	250914	40.1	523545	51204	53652	0.903	204.0	0.82	96996
G5	1353	397356	46.6	424763	41101	31584	1.210	158.0	0.931	39772
G6	1145	236599	42.5	122341	10172	10575	0.947	97.7	0.956	110686
G7	1187	296357	45.9	318428	30226	33237	1.030	162.0	0.903	107914
G8	1184	391478	52.9	448532	43532	36276	1.200	169.0	0.92	117684
G9	1200	274544	43.6	373111	35818	39501	0.977	176.0	0.877	111019
G10	1190	237456	41.0	254456	23683	24552	0.925	141.0	0.909	103400
G11	1305	275645	40.2	816277	81142	86352	0.899	256.0	0.740	52685
G12	1349	260720	37.9	394940	38051	41199	0.946	180.0	0.865	35842
G13	1121	230416	42.8	414842	40086	40008	0.882	177.0	0.852	143329
G14	1163	407706	54.9	514946	50324	41160	1.220	179.0	0.914	121537
G15	1243	246847	40.0	353956	33859	35778	0.925	168.0	0.875	96943
G16	1211	289088	44.4	122109	10148	10620	1.050	97.9	0.964	87462
G17	1258	219249	37.2	762059	75597	70587	0.797	232.0	0.731	72003
G18	1215	287199	44.1	65602	4369	4047	1.060	68.6	0.982	77330

سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد برای ژنوتیپ‌های ۱۸،۱۶، ۶ و ۳ کمتر از ژنوتیپ‌های دیگر بود، که بیانگر پایداری عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها بود. از طرف دیگر، ژنوتیپ‌های ۹، ۸، ۴، ۷ و ۱ با بالاترین مقدار Wi بیشترین سهم را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند که نشانگر پاسخ بیشتر آنها به تغییرات محیطی و ناپایداری عملکرد دانه آنها بود (جدول ۶). پژوهشگران دیگری نیز از روش‌های اکووالانس ریک و واریانس شوکلا برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار نخود استفاده کردند (Tilahun *et al.*, 2015; Mohamed *et al.*, 2015; Naveed *et al.*, 2016; Kizilgeci, 2018).

ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۲، ۱۵، ۱۱ و ۱۰ به ترتیب با کمترین ضریب تغییرات محیطی دارای پایدارترین عملکرد دانه بودند. ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۳، ۱۰، ۶ و ۳ به ترتیب با کمترین واریانس محیطی عملکرد دانه پایدارتری نسبت ژنوتیپ‌های دیگر داشتند (جدول ۶). این دو شاخص را بسیاری از پژوهشگران برای شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار در گیاهان زراعی گوناگون از جمله نخود استفاده کرده اند (Bakhsh *et al.*, 2011; Danyali *et al.*, 2012; Mahtabi *et al.*, 2014; Kanouni *et al.*, 2015; Naveed *et al.*, 2016).

در حالی که ژنوتیپ‌های ۱۷، ۴، ۱، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ به ترتیب با کمترین ضریب تشخیص (R^2) دارای عملکرد ناپایدار دانه بودند، مقدار این شاخص در ژنوتیپ‌های دیگر به‌ویژه ژنوتیپ‌های ۱۸، ۳، ۵ و ۶ نیز بالا بود که نشانگر پایداری عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۶). نوید و همکاران (Naveed *et al.*, 2016) نیز از ضریب تشخیص (R^2) برای شناسایی ژنوتیپ‌های نخود دارای عملکرد دانه پایدار استفاده کردند. ریشه خطای میانگین مربع (RMSE) شاخص دیگری است که برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به‌کار گرفته شد که هرانداز‌ه مقدار آن برای ژنوتیپی کمتر باشد، آن ژنوتیپ عملکرد دانه پایدارتر دارد. بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۶، ۶ و ۳ به ترتیب پایدارترین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۶).

از آنجا که ژنوتیپ دارای ضریب رگرسیون (b_i) بالاتر از میانگین کل عملکرد دارای عملکرد پایدار است و توانایی سازگاری با کلیه محیط‌ها را دارد (Fasahat *et al.*, 2015)، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۶ و ۱۸ دارای چنین ویژگی‌هایی بودند و بنابراین با بهبود حاصلخیزی محیط عملکرد آنها می‌توانند افزایش یابد. این ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های با شرایط رشد مساعد سازگار هستند و اگر در محیط‌های ضعیف کشت شوند عملکردی کمتر از عملکرد بهینه تولید می‌کنند، اما در صورت کشت در محیط‌های مساعد می‌توانند به بیشترین عملکرد برسند. ژنوتیپ‌های ۴، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۵ و ۱۷ با عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها، اما ضریب رگرسیون کمتر از یک،

دارای پایداری عملکرد دانه بیشتر از متوسط بودند (جدول ۶).

در صورتی‌که خط رگرسیون یک ژنوتیپ پایین‌تر از میانگین کل عملکرد باشد، آن ژنوتیپ دارای پایداری عملکرد پایین در کل محیط‌ها است، ولی می‌تواند با برخی از محیط‌ها سازگار باشد. ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۶، ۱۰ و ۱۳ با میانگین عملکرد کمتر از میانگین کل و ضریب رگرسیون کمتر از یک ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌های نامساعد بودند. در مجموع، ژنوتیپ‌های ۹، ۱۲، ۱۶ و ۱۸ با ضریب رگرسیون نزدیک به یک و عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های دارای پایداری عملکرد دانه بودند (جدول ۶).

پژوهشگران دیگری نیز از ضریب رگرسیون (bi) برابر یک یا نزدیک به یک و بیشترین عملکرد دانه برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار نخود استفاده کرده اند (Bakhsh *et al.*, 2011; Danyali *et al.*, 2012; Singh and Singh, 2013; Mahtabi *et al.*, 2014; Mohamed *et al.*, 2015; Kanouni *et al.*, 2015; Naveed *et al.*, 2016; Hasan and Deb, 2017; Erdemci, 2018; Kizilgeci, 2018).

تجزیه واریانس با استفاده از روش ابرهارت و راسل (Eberhart and Russel, 1966) اثر معنی‌دار ژنوتیپ را نشان داد (جدول ۷). اثر معنی‌دار واریانس محیط (خطی) بیانگر وجود رابطه خطی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی است و نشان‌دهنده وجود جزء قابل پیش‌بینی است و وجود تمایزهای ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را برای رگرسیون آنها در شاخص محیطی نشان می‌دهد. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط (خطی) تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر میزان سازگاری و پایداری عملکرد، واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی و متفاوت بودن شیب خط رگرسیون ژنوتیپ‌ها را نشان می‌هد و بیانگر آن است که پارامتر پایداری 'bi' برآورد شده به‌وسیله پاسخ خطی به تغییر محیطی برای همه ژنوتیپ‌ها یکسان نیست یا ژنوتیپ‌ها شیب خط یکسانی ندارند.

این شاخص همچنین نشان می‌دهد که سودمندی کاربرد پیش‌بینی می‌تواند وابسته به اندازه نسبی دو واریانس باشد، در حالی‌که غیر معنی‌دار بودن این جزء غیرقابل پیش‌بینی بودن کارآیی ژنوتیپ‌ها را در محیط‌ها نشان می‌دهد (Singh and Singh, 2013). اثر غیر معنی‌دار واریانس انحراف ادغام شده از رگرسیون (Pooled deviation) مناسب بودن مدل رگرسیونی در توجیه تغییرات را نشان می‌دهد.

انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی برای هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد، که نشان داد، نوسان عملکرد ژنوتپ‌ها در اطراف خط رگرسیون معنی‌دار نبود. ژنوتیپ‌های ۳، ۶، ۱۸، ۱۶ و ۱۰ کمترین مقدار انحراف از رگرسیون را داشتند و دارای عملکرد دانه پایدارتر نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر بودند.

جدول ۷- تجزیه واریانس با استفاده از مدل ابرهارت - راسل

Table 7. Analysis of variance using Eberhart–Russel's Model

S. O. V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
Total	کل	215	–
Genotype (G)	ژنوتیپ	17	110158**
Environment (E) + (G × E)	ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط	198	287659
E (Linear)	محیط (خطی)	1	49953333
G × E (Linear)	ژنوتیپ × محیط (خطی)	17	288908**
Pooled deviation	انحراف ادغام شده از رگرسیون	180	11621
G1	ژنوتیپ ۱	10	15861
G2	ژنوتیپ ۲	10	12863
G3	ژنوتیپ ۳	10	4534
G4	ژنوتیپ ۴	10	16580
G5	ژنوتیپ ۵	10	10041
G6	ژنوتیپ ۶	10	3817
G7	ژنوتیپ ۷	10	10531
G8	ژنوتیپ ۸	10	11432
G9	ژنوتیپ ۹	10	12388
G10	ژنوتیپ ۱۰	10	7958
G11	ژنوتیپ ۱۱	10	26270
G12	ژنوتیپ ۱۲	10	12890
G13	ژنوتیپ ۱۳	10	12538
G14	ژنوتیپ ۱۴	10	12879
G15	ژنوتیپ ۱۵	10	11284
G16	ژنوتیپ ۱۶	10	3830
G17	ژنوتیپ ۱۷	10	21598
G18	ژنوتیپ ۱۸	10	1882
Pooled error	خطای ادغام شده	432	24182

*: Significant at the 1% probability level. *: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

سینگ و سینگ (Singh and Singh, 2013) نیز برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به دو جزء خطی و غیرخطی تجزیه کردند و ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار را شناسایی کردند.

علاوه بر شاخص‌های بالا که بر اساس پایداری عملکرد دانه بدون توجه به میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ بود، از شاخص عملکرد-پایداری (YSi) (Kang, 1993) هم استفاده شد که به هر دو جنبه پایداری و میانگین عملکرد دانه می‌پردازد. در این روش، ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ با YSi بالاتر از متوسط YSi، ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار بودند که از نظر میانگین و پایداری عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند (جدول ۸). از آنجا که این روش دارای مفهوم پویا برای پایداری عملکرد است و به جنبه زراعی پایداری عملکرد اشاره دارد (Becker, 1981)، می‌تواند برای کشاورزان

جدول ۸- آماره عملکرد-پایداری (Ysi) برای پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود بر اساس روش ترکیبی واریانس پایداری شوکلا و روش کنگ

Table 8. Yield- stability (YSi) statistic for seed yield stability of chickpea genotypes based on Shkulaks' stability variance ($\sigma^2 i$) and Kang method

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Mean seed yield (kg ha^{-1})	رتبه‌بندی عملکرد (Y') Rank on yield (Y')	ضریب اصلاحی برای Y' Adjustment rank for Y'	رتبه تصحیح‌شده عملکرد (Y) Adjusted rank of yield (Y)	واریانس پایداری شوکلا ($\sigma^2 i$)	رتبه‌بندی پایداری (S) Stability rating (S)	اثر همزمان عملکرد و پایداری YSi = Y + S	ژنوتیپ‌های برگزیده (+) Selected genotypes (+)
G1	1031	1	-2	-1	47581	-4	-5	-
G2	1037	2	-2	0	44711	2	2	-
G3	1117	3	-1	2	12502	0	2	-
G4	1250	14	1	15	51204	-4	11	+
G5	1353	18	2	20	41101	2	22	+
G6	1145	5	-1	4	10172	0	4	-
G7	1187	8	-1	7	30226	0	7	-
G8	1184	7	-1	6	43532	2	8	-
G9	1200	10	1	11	35818	0	11	+
G10	1190	9	-1	8	23683	0	8	-
G11	1305	16	1	17	81142	-8	9	+
G12	1349	17	2	19	38051	0	19	+
G13	1121	4	-1	3	40086	0	3	-
G14	1163	6	-1	5	50324	-4	1	-
G15	1243	13	1	14	33859	0	14	+
G16	1211	11	1	12	10148	0	12	+
G17	1258	15	1	16	75597	-8	8	-
G18	1215	12	1	13	4369	0	13	+

مفید باشد و روش مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر است. منظور از مفهوم پویای پایداری عملکرد این است که ژنوتیپ دارای عملکرد ثابتی است، ولی در هر محیطی مقدار عملکرد آن با سطح برآورد شده یا پیش‌بینی شده مطابقت دارد. همچنین بین سطح برآورد شده یا پیش‌بینی شده با مقدار واقعی عملکرد توافق وجود داشته باشد (Becker and Leon, 1988).

علاوه بر روش‌های پارامتری برای ارزیابی ژنوتیپ‌های عملکرد دانه پایدار، از روش‌های ناپارامتری نیز استفاده شد. شاخص ناپارامتری فوکس و همکاران (Fox *et al*., 1990) دارای سه پارامتر Top، Mid و Low می‌باشد. این شاخص ژنوتیپ‌ها را براساس مقدار عملکرد و پایداری و عملکرد در سه گروه بالا، متوسط و پایین قرار می‌دهد. هرچه مقدار پارامتر Top یک ژنوتیپ بیشتر باشد پایداری عملکرد و مطلوبیت آن نیز بیشتر است.

نتایج به دست آمده از عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در ۱۲ محیط ژنوتیپ ۵ با ۶۶/۷ درصد Top، ۸/۳ درصد Mid و ۲۵ درصد Low به عنوان مطلوب‌ترین ژنوتیپ با پایدارترین عملکرد دانه در این پژوهش انتخاب شد (جدول ۹). ژنوتیپ ۱۲ نیز با دارا بودن ۵۸/۳ درصد Top، ۴۱/۷ درصد Mid و صفر درصد Low در رده بعدی قرار گرفت. ژنوتیپ ۱۵ با داشتن ۵۸/۳ درصد Top، ۱۶/۷ درصد Mid و ۲۵ درصد Low به عنوان سومین ژنوتیپ با عملکرد دانه پایدار و مطلوب با استفاده روش ناپارامتری فوکس و همکاران (Fox *et al*., 1990) انتخاب شد.

البته شاخص Top ژنوتیپ ۴ برابر ۵۰ درصد بود، ولی به دلیل کمتر بودن شاخص Mid آن نسبت به ژنوتیپ ۹، این ژنوتیپ در جایگاه پنجم مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌های این پژوهش قرار گرفت (جدول ۹). نامطلوب‌ترین و در واقع ناپایدارترین عملکرد دانه در این روش با اختصاص میزان بالای شاخص Low (۷۵ درصد) متعلق به ژنوتیپ ۲ بود که دارای میانگین عملکرد دانه‌ی پایینی بود و بعد از این ژنوتیپ، ژنوتیپ ۱۳ با دارا بودن ۵۸/۳ درصد Low به عنوان دومین ژنوتیپ با عملکرد دانه ناپایدار از نظر شاخص فوکس و همکاران (Fox *et al*., 1990) معرفی شد.

نتایج بدست آمده از محاسبه آماره‌های ناپارامتری $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$،$S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۱۰، ۱۲ و ۸ دارای کمترین مقادیر $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$،$S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ بودند و بنابراین به ترتیب به عنوان ژنوتیپ های با پایداری عملکرد دانه بالا در این چهار روش شناسایی شدند. البته به دلیل عملکرد دانه پایین ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۸ نسبت به میانگین عملکرد دانه کل ژنوتیپ ها، این ژنوتیپ‌ها از لیست ژنوتیپ‌های داری عملکرد پایدار حذف شدند.

با توجه به مقادیر واریانس و میانگین (امید ریاضی) این دو آماره ($Si^{(1)}$ و $Si^{(2)}$) هم‌چنین با محاسبه‌ی ضریب تغییرات آن‌ها می‌توان گفت

جدول ۹- رتبه ژنوتیپ‌های نخود در محیطها و تجزیه پایداری با استفاده از روش ناپارامتری
Table 9. Ranks of genotypes in environments and non-parametric method used for stability analysis

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Mean seed yield (kg ha^{-1})	رتبه Rank	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	TOP	MID	LOW
G1	1031.42	18	5.33	21.15	36.74	7.79	0.00	58.33	41.67
G2	1036.76	17	5.12	19.24	23.96	4.53	8.33	16.67	75.00
G3	1116.78	16	5.65	25.36	26.78	5.06	8.33	41.67	50.00
G4	1250.25	5	2.82	5.88	4.73	1.85	50.00	25.00	25.00
G5	1353.40	1	6.77	35.72	52.98	7.64	66.67	8.33	25.00
G6	1144.58	14	7.12	36.55	44.67	6.89	25.00	33.33	41.67
G7	1186.80	11	6.48	31.73	30.35	4.96	41.67	16.67	41.67
G8	1183.83	12	4.70	16.70	16.95	3.35	25.00	25.00	50.00
G9	1200.44	9	6.92	34.81	39.96	6.07	50.00	33.33	16.67
G10	1189.74	10	3.89	12.57	14.18	3.08	25.00	41.67	33.33
G11	1304.74	3	4.85	20.79	49.00	9.14	33.33	50.00	16.67
G12	1348.72	2	3.92	12.02	17.06	4.39	58.33	41.67	0.00
G13	1120.89	15	6.44	30.02	30.72	5.49	25.00	16.67	58.33
G14	1162.72	13	5.76	25.52	22.16	4.05	33.33	25.00	41.67
G15	1243.06	6	5.71	23.54	32.03	6.31	58.33	16.67	25.00
G16	1210.62	8	6.14	28.75	34.19	6.38	33.33	50.00	16.67
G17	1258.25	4	6.61	33.24	39.89	6.36	33.33	41.67	25.00
G18	1214.80	7	5.91	25.61	25.22	4.45	25.00	58.33	16.67

که دقت آماره‌ی $S_i^{(1)}$ از آماره‌ی $S_i^{(2)}$ بیش‌تر است. زیرا براساس روابط ریاضی محاسباتی این دو آماره، امید ریاضی و واریانس $S_i^{(1)}$ همیشه کوچک‌تر از امیدریاضی و واریانس آماره‌ی $S_i^{(2)}$ می‌باشد و در نتیجه احتمال معنی‌دار شدن آن هم بیشتر است (Nassar and Huehn, 1987).

ژنوتیپ‌های دارای کمترین مقادیر $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$، $S_i^{(3)}$ و $S_i^{(6)}$ دارای پایداری عملکرد بالایی هستند (Karimizadeh *et al*., 2019). نتایج پژوهش‌های هوئن (Huehn, 1979)، کیلیچ و همکاران (Kilic *et al* ., 2010) نشان داد که بین $S_i^{(1)}$ و $S_i^{(2)}$ همبستگی بسیار بالایی وجود دارد، حتی وقتی که از عملکرد تصحیح نشده برای امتیاز دهی استفاده شود. معمولاً امتیازهای ژنوتیپی بدست آمده از عملکرد تصحیح شده و تصحیح‌نشده با هم متفاوتند و همبستگی متوسط تا ضعیفی بین این دو نوع امتیازدهی وجود دارد.

لین و بینز (Lin and Binns, 1988) شاخص برتری (Pi) را برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها معرفی کردند که با استفاده از آن ژنوتیپ‌های برتر در کلیه محیط‌ها (Pi_a) شناسایی می شوند (Olivoto and Lúcio, 2020). براساس این شاخص در کل محیط‌ها،

ژنوتیپ‌های ۱۲، ۵، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ به عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار و مطلوب انتخاب شدند (جدول ۱۰). حاجی‌وند و همکاران (Hajivand *et al.,* 2020)، دانیالی و همکاران (Danyali *et al.,* 2012) و اعظم و همکاران (Azam *et al.,* 2020) نیز برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود از شاخص برتری استفاده کردند.

برای ارزیابی روابط بین شاخص‌های پایداری عملکرد از نمودار گرمایی تجزیه همبستگی (شکل ۱) و همچنین نمودار بای پلات (شکل ۲) استفاده شد. همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های ضریب تغییرات محیطی (CV_i) و واریانس محیطی (S_i^2) همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند. همچنین شاخص‌های واریانس انحراف شوکلا (S^2)، واریانس شوکلا (σ_i^2)، اکووالانس ریک (W_i^2) و خطای میانگین مربع (RMSE) با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند. علاوه بر این روابط مثبت، می‌توان به همبسنگی مثبت و بالای شاخص‌های $S_i^{(1)}$، $S_i^{(2)}$،$S_i^{(3)}$ و$S_i^{(6)}$ اشاره کرد (شکل ۱). روابط بین شاخص‌های دیگر که از منفی تا همبستگی پایین است نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

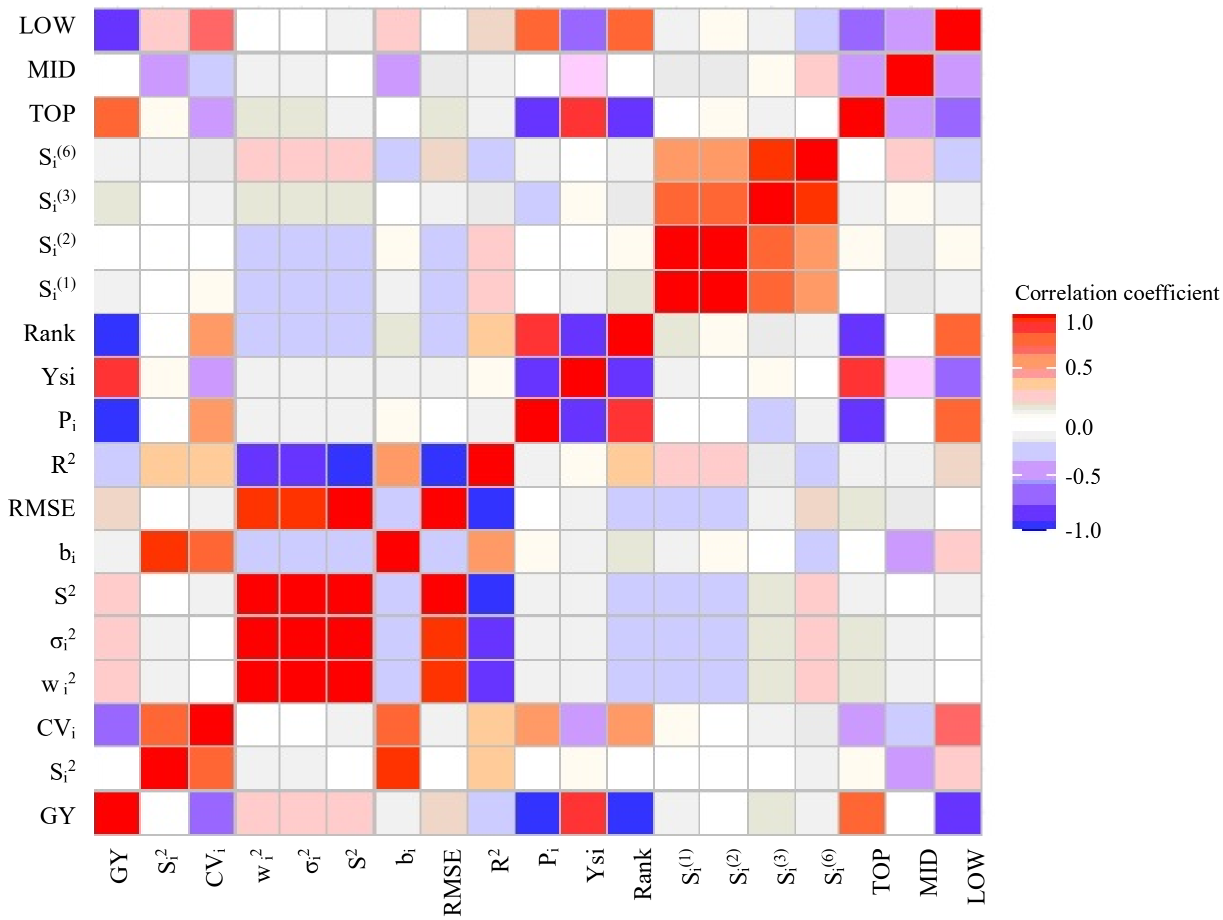
شاخص‌های TOP و Ysi همبستگی مثبت و شاخص‌های LOW، رتبه کنگ و P_i همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه داشتند (شکل ۱) . فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2012) و کریمی‌زاده و همکاران (Karimizadeh *et al.*, 2019) گزارش کردندکه شاخص Top همبستگی معنی‌داری فقط با میانگین عملکرد دانه و میانگین رتبه داشت و با سایر آماره‌های ناپارامتری همبستگی نشان نداد. همبستگی بین آماره های مختلف ناپارامتری و شاخص Top در پژوهش کیلیچ و همکاران (Kilic *et al.*, 2010) بر روی داده‌های عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های گندم دوروم گزارش شد. نتایج آنها نشان از همبستگی بالای شاخص Top با اکثر آماره‌های تنارازو (Thennarasu, 1995)، نصار و هوئن (Nassar and Huehn, 1987) و هوئن (Huehn, 1979) داشت.

نتایج بدست آمده از نمودار گرمایی همبستگی بین شاخص‌ها پایداری در نمودار بای‌پلات نیز تأیید شد (شکل ۲) به‌طوری‌که شاخص‌های واریانس انحراف شوکلا (S^2)، واریانس شوکلا (σ_i^2)، اکووالانس ریک (W_i^2) و خطای میانگین مربع (RMSE) در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۲). همچنین شاخص‌های TOP، Ysi و عملکرد دانه در یک گروه قرار داشتند. ضریب تغییرات محیطی، رتبه کنگ، LOW و شاخص برتری نیز در یک گروه جای گرفتند (شکل ۲). شاخص‌هایی بالا به همراه ضریب تشخیص که در فاصله دورتری از مبدأ بای‌پلات قرار گرفتند، از توانایی جداکنندگی (Discriminating) بیشتری برخوردارند و می‌توانند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها

جدول ۱۰- رتبه ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از آماره‌های پارامتری و ناپارامتری

Table 10. Rank of chickpea genotypes using parametric and nonparametric statistics

ژنوتیپ	عملکرد دانه	پارامترهای هوئن (۱۹۷۹) و نصار و هوئن (۱۹۸۷) Huehn (1979) and Nassar and Huehn (1987) parameters				اکووالانس ریک	واریانس شوکلا	ابرهارت و راسل	ضریب تغییرات	رتبه کنگ	آماره پلاستد	پلاستدو پترسون	لین و بینز	مجموع رتبه	میانگین رتبه	انحراف معیاررتبه
Genotype	Seed yield	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(6)}$	W_i^2	$\sigma^2 i$	$s^2 d_i$	CV_i	*K*R	$\theta_{(i)}$	θ_i	Pi-a	SR	AR	SD
1	18	7	7	13	17	14	14	15	15	18	14	5	18	175	13.5	4.3
2	10	6	5	6	7	5	5	5	6	6	5	14	17	97	7.5	3.7
3	3	8	9	8	9	18	18	18	5	11	18	1	15	141	10.8	5.8
4	2	1	1	1	1	9	9	13	2	2	9	10	8	68	5.2	4.3
5	15	16	17	18	16	10	10	11	8	15	10	9	2	157	12.1	4.4
6	13	18	18	16	15	15	15	14	17	16	15	4	11	187	14.4	3.5
7	6	14	14	9	8	7	7	8	3	5	7	12	10	110	8.5	3.2
8	8	4	4	3	3	3	3	3	12	2	3	16	13	77	5.9	4.5
9	4	17	16	15	11	17	17	17	1	11	17	2	12	157	12.1	5.8
10	7	2	3	2	2	1	1	1	11	1	1	18	9	59	4.5	5.1
11	17	5	6	17	18	13	13	12	18	17	13	6	3	158	12.2	5.2
12	16	3	2	4	5	4	4	4	9	10	4	15	1	81	6.2	4.6
13	5	13	13	10	10	16	16	16	4	11	16	3	16	149	11.5	4.7
14	1	10	10	5	4	11	11	6	14	4	11	8	14	109	8.4	3.9
15	14	9	8	11	12	2	2	2	7	7	2	17	7	100	7.7	4.7
16	11	12	12	12	14	6	6	7	13	8	6	13	6	126	9.7	3.1
17	12	15	15	14	13	12	12	9	16	14	12	7	4	155	11.9	3.3
18	9	11	11	7	6	8	8	10	10	8	8	11	5	112	8.6	1.9



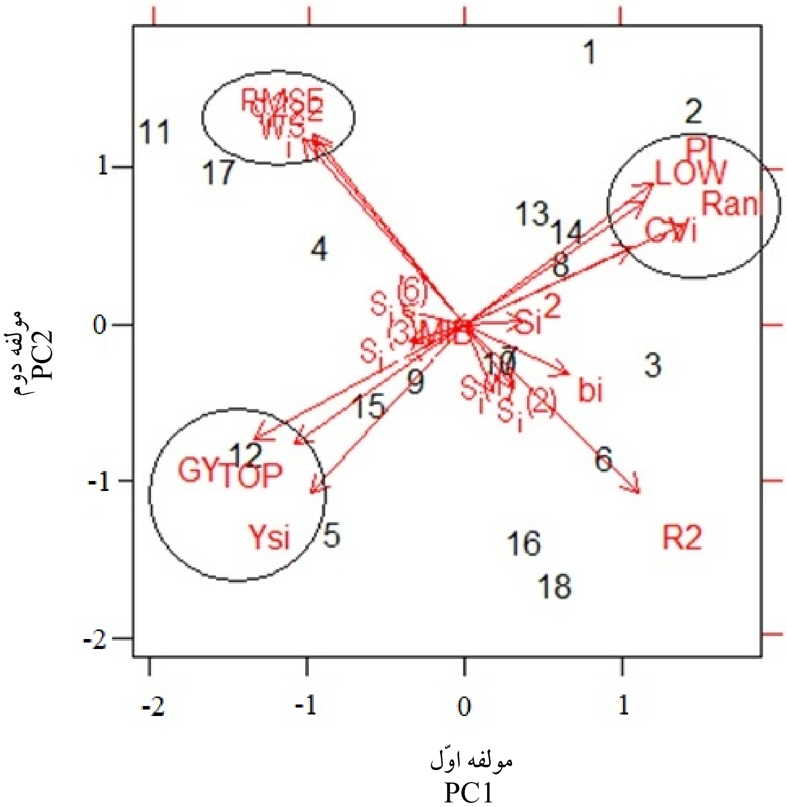
شکل ۱- همبستگی بین شاخص‌های پایداری

Fig. 1. Correlation between stability indices

را بـه درسـتی بـرآورد کنـد و ژنوتیپ‌هـای بـا عملکرد پایـدار شناسـایی شـده بـا آنهـا از اعتبـار بیشتری برخوردار هستند (Yan *et al.*, 2000).

پایـداری عملکـرد ممکـن اسـت بصـورت اسـتاتیک (Static Stability) و یـا دینامیـک (Dynamic stability) باشد. پایداری عملکرد هنگامی استاتیک است که عملکرد ژنوتیپ ها در کلیه محیط‌ها یکسان باشد. پایداری عملکرد دینامیک که بـه عنـوان مفهـوم زراعـی پایـداری عملکرد نیز شناخته می‌شـود دلالـت بـر ایـن دارد که یک ژنوتیپ با عملکرد پایدار بایستی همیشـه عملکرد بالا داشته باشد یعنی اثر متقابـل ژنوتیـپ × محیط آن رقم در حـداقل مقـدار ممکـن باشـد (Becker, 1981).

بیکر و لئون (Becker and Leon, 1988) اعـلام کردنـد کـه کلیـه روش‌هـای ارزیـابی پایـداری عملکـرد بـر اسـاس کمـی کـردن اثـر متقابـل ژنوتیـپ × محـیط بـه مفهـوم پایـداری



شکل ۲- بای‌پلات برای شاخص‌های پارامتری و ناپارمتری پایداری عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های نخود

Table 1. Biplot between parametric and nonparametric seed yield stability indices for chickpea genotypes

عملکرد دینامیک می باشند. این روشها شامل روش‌های تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و روش‌های رگرسیونی فینلی و ویلکینسون و همچنین آماره های پایداری ناپارامتری می‌شود.

لین و همکاران (Lin *et al.*, 1986) و بیکر و لئون (Becker and Leon, 1988) پایداری عملکرد را بر سه نوع دسته‌بندی کردند:

۱) اگر واریانس ژنوتیپ بین محیط‌ها کوچک باشد عملکرد ژنوتیپ پایدار تلقی می‌شود. این مفهوم در صفات کیفی و مقاومت به بیماری‌ها یا برای صفات تحمل به تنش مفید است. براساس این مفهوم از پایداری عملکرد، یک ژنوتیپ تظاهر مشابهی در محیط‌های مختلف یا تحت شرایط مختلف محیطی دارد این پایداری عملکرد استاتیک است و می‌توان آن را به عنوان مفهوم بیولوژیکی پایداری شناخت. واریانس‌های رومر

(Roemer, 1917) و ضریب تغییرات محیطی (Francis and Kannenberg, 1978) به عنوان پارامترهایی جهت شرح پایداری عملکرد استاتیک استفاده می شوند.

۲) عملکرد یک ژنوتیپ زمانی پایدار تلقی می‌گردد که واکنش آن موازی با میانگین واکنش تمام ژنوتیپ‌ها در آن آزمایش باشد، این نوع پایداری به عنوان مفهوم پایداری عملکرد دینامیک یا زراعی محسوب می‌شود. در این حالت ژنوتیپ پایدار انحرافی از واکنش عمومی به محیط‌ها نداشته و امکان پیش بینی واکنش یک ژنوتیپ به محیط خاص را به وجود می‌آورد. پارامترهای مورد استفاده در این نوع پایداری، پارامترهای ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) و اکووالانس ریک (Wricke, 1962) می‌باشند.

۳) عملکرد ژنوتیپی پایدار تلقی می‌گردد که میانگین مربعات باقیمانده از مدل رگرسیون روی شاخص محیطی آن حداقل باشد. روش‌های ابرهارت و راسل (Eberhart and Russel, 1966) و تای (Tai, 1971) از دسته سوم به شمار می‌روند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری با چندین روش پارامتری و ناپارامتری انجام شد. رتبه ژنوتیپ‌های نخود در نهایت در جدول ۱۰ بطور خلاصه ارائه شده است. براساس میانگین و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌ها در روش های مختلف، ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۸ و ۱۲ ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه پایدار از نظر شاخص‌های واریانس شوکلا ($\sigma^2 i$)، اکووالانس ریک (Wi) و روش ابرهارت و راسل بودند. شاخص برتری لین و بینز، ژنوتیپ‌های ۱۲، ۵، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب با پایداری عملکرد بالا شناسایی کرد. از نظر رتبه ژنوتیپی، ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ ژنوتیپ‌های با پایداری عمکرد دانه بودند (جدول ۱۰).

بر اساس شاخص‌هایی که در محاسبه آنها به میانگین عملکرد نیز علاوه بر پایداری عملکرد توجه شده است و بر مبنای شاخص‌هایی همچون واریانس شوکلا و اکووالانس ریک، خطای میانگین مربع و شاخص‌های ناپارامتری، به ترتیب ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ به ترتیب دارای پایدارترین عملکرد دانه بودند. بنابراین می‌توان این چهار ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار برای ارزیابی‌در پروژه‌های پژوهشی-ترویجی برای نامگذاری به‌عنوان رقم جدید نخود مدنظر برای مناطق هدف قرار داد.

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از کلیه همکارانی که در مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، ایلام، گلستان (گنبد)، کهگیلویه و بویر احمد در اجرای این پروژه تحقیقاتی همکاری کردند صمیمانه سپاسگزاری می کند.

References

Azam, M. G., Iqbal, M. S., Hossain M. A., and Hossain, M. F. 2020. Stability investigation and genotype × environment association in chickpea genotypes utilizing AMMI and GGE biplot model. Genetics and Molecular Research 19 (3): 1-15.

Bakhsh, A., Akhtar, L. H., Malik, S. R., Masood, A., Iqbal, S. M., and Qureshi, R. 2011. Grain yield and stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) across environments. Pakistan Journal of Botany 43 (5): 2947-2951.

Becker, H. C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. Euphytica 30: 835-840.

Becker, H. C., and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding 101:1-23.

Danyali, S. F., Razavi, F., Ebadi Segherloo, A., Dehghani, H., and Sabaghpour, S. H. 2012. Yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and study relationship among the univariate and multivariate stability parameters. Research in Plant Biology 2 (3): 46-61.

Eberhart, S. A., and Russel, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6 (1): 36-40.

Erdemci, I. 2018. Investigation of genotype × environment interaction in chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. Turkish Journal of Field Crops 23 (1): 20-26.

Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Zali, H. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Australian Journal of Crop Science 6 (3): 514–524.

Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S. B., Noghabi, M. A., and Rad, J. M. 2015. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. Biometrics and Biostatistics International Journal 2 (5): 149-159.

Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in plant-breeding programs. Australian Journal of Agricultural Research 14 (6): 742-754.

Fox, P. N., Skovmand, B., Thompson, B. K., Braun, H. J., and Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica 47 (1): 57-64.

Francis, T. R., and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short-season

maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science 58 (4): 1029-1034.

Hajivand, A., Asghari, A., Karimizadeh, R., Mohammaddoust-Chamanabad, H. R., Zeinalzadeh-Tabrizi, H. 2020. Stability analysis of seed yield of advanced chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under tropical and subtropical rainfed regions of Iran. Applied Ecology and Environmental Research 18 (2): 2621-2636.

Hasan, M. T., and Deb, A. C. 2017. Stability analysis of yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* l.). Horticultural International Journal 1 (1): 4-14.

Huehn, M. 1979. Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationnen beruhenden stabilitatsparameter. EDV in Medizin und Biologie 10: 112–117 (in German).

Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability: Consequences for growers. Agronomy Journal 85 (3): 754-757.

Kanouni, H., Farayedi, Y., Saeid, A., and Sabaghpour, S. H. 2015. Stability analyses for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in the western cold zone of Iran. Journal of Agricultural Science 7 (5): 219-230.

Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S. H., and Saeid, A. 2016. Assessment of genotype × environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 18 (1): 63 -75 (in Persian).

Karimizadeh, R., Asghari, A., Sofalian, O., Shahbazi, K., Hossienpour, T., Ghojogh, H. 2019. Identification of the most stable Durum wheat genotypes using nonparametric yield stability statistics. Journal of Crop Production and Processing 9 (1): 189-203.

Kilic, H., Akcura, M., Aktas, H. 2010. Assessment of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in multi-environments. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38 (3): 271–279.

Kizilgeci, F. 2018. Assessing the yield stability of nineteen chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes grown under multiple environments in south-eastern Anatolia, Turkey. Applied Ecology and Environmental Research 16 (6): 7989-7997.

Lin, C. S., Binns, M. R., and Lefkovitch, L. P. 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Science 26: 894–900.

Lin, C. S., and Binns, M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for

cultivar × location data. Canadian Journal of Plant Science 68: 193-198.

Mahtabi, E., Farshadfar, E., and Jowkar M. M. 2014. Stability analysis of yield and yield components in chickpea genotypes. Agricultural Communications 2 (4): 1-8.

Mohamed, A. A., Tahir, I. S. A., and Elhashimi, A. M. A. 2015. Assessment of genetic variability and yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in River Nile State, Sudan. Journal of Plant Breeding and Crop Science 7 (7): 219-224.

Nassar, R., and Huehn, M. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics 43 (1): 45-53.

Naveed, M., Shafiq, M., Rafiq, C. M., Naeem, M. K., and Amin, M. 2016. Grain yield stability of newly evolved Desi chickpea strains under rainfed conditions. The Journal of Animal and Plant Sciences 26 (2): 481-486.

Olivoto, T., and Lúcio, A. D. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. Methods in Ecology and Evoluon 00: 1–7. DOI: 10.1111/2041-210X.13384

Pinthus, M. J. 1973. Estimate of genotypic value: A proposed method. Euphytica 22 (1): 121-123.

Roemer, **T. 1917.** Sin die ertragsreichen sorten ertragssicherer. DLG-Mitteillungen 32: 87–89.

Sharifi P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, and A., Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science 24 (3): 173−180.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29 (2): 237-245.

Singh A. K., and Singh, A. P. 2013. Study of genetic variability and interaction of some quantitative traits in chickpea (*Cicer arietinum* L). Technofame 2 (1): 87-94.

Tilahun G., Mekbib, F., Fikre, A. and Eshete, M. 2015. Genotype × environment interaction and stability analysis for yield and yield related traits of Kabuli-type Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Ethiopia. African Journal of Biotechnology 14 (18): 1564-1575.

Thennarasu, K. 1995. On certain non–parametric procedures for studying genotype – environment interactions and yield stability. Ph. D. Thesis. P. J. School. IARI. New Delhi, India.

Wrick, G. 1962. Über eine Methode zür Erfassung der Okologischen Streubreite in

Feldresuchen. Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung 47 (1): 92-96.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597-605.

Yaseen, M., Eskridge, K. M., and Murtaza, G. 2018. Package 'stability'. https://github.com/myaseen208/stability.